

PLASTİK GÖVDELİ SÜRTÜNMELİ KAYA SAPLAMALARININ KULLANILABİLİRLİĞİ

THE USABILITY OF FRICTIONAL ROCK BOLTS WITH PLASTIC BODY

Eren KÖMÜRLÜ*
Ayhan KESİMAL**

ÖZET

Bu çalışmada, polipropilen random kopolimer (PP-R) türü cam lif katkılı malzemeden üretilen tüplerin korozyonun önlenmesi adına çelik split setler yerine sürtünmeli kaya saplaması olarak kullanılabilirliği bir dizi deneysel çalışma ile değerlendirilmiştir. PP-R tüpler tipik çelik split setler ile kıyaslamalı olarak statik yük testleri (çekme ve makaslama), ani yükleme testleri, sünme, korozyon, çapsal daralma ve montaj testleri ile incelenmiştir. Kimyasal olarak yüksek dirence sahip olması ve mekanik özellikleri nedeni ile içme suyu taşıma, basınçlı gaz taşıma gibi amaçlar ile ekonomik olarak kullanılmakta olan PP-R tüplerin, bu çalışma kapsamında elde edilen veriler ışığında sürtünme ile yük taşıma amaçlı kaya mühendisliğinde kullanılabilir olduğu görülmüştür. Korozyon problemi olmaması, delik pürüzlerine bağlı temas yüzeyinin şeklini alabiliyor olması, yüksek çatlak ilerleme direnci nedeni ile ideal tahkimat reaksiyonları göstermesi gibi önemli avantajlara sahip olsa da, PP-R tüplerin delik içerisinde gerilme rahatlaması yaşaması dikkate alınması gereken bir özellik olarak değerlendirilmiştir. Farklı test sonuçlarına göre tahkimat özellikleri irdelenen lif katkılı PP-R kompozit tüplerin çelik split setlerin yerine kullanımı için yeni kaya saplaması ürünlerinin geliştirilmesi önerilmiştir.

Anahtar sözcükler: Kaya saplamaları, Split set, Sürtünmeli kaya saplamaları, Polimer tahkimat malzemeleri, Çelik korozyonu, Polipropilen

ABSTRACT

In this study, polypropylene random copolymer (PP-R) tubes were assessed with a series of experimental study to use instead of steel split sets, in terms of prevention of the corrosion problem. PP-R tubes and typical steel split sets were comparatively investigated with statical loading (pull and shear), impact loading, creep, corrosion, diametral compression, insertion tests. PP-R tubes having proper chemical resistivity and mechanical properties to be economically used in drinking water carriage and pressurized gas transportation applications were assessed to be usable as frictional rock bolts in rock engineering. In spite of the important advantages of being a noncorrosive material, being shaped by the roughness of the drillhole surface, having ideal support reactions resulting from high crack propagation resistivity, strain relaxation of the PP-R tubes inserted into the drillholes was found to be considered. According to the data obtained with different tests, it was suggested to develop new rock bolt products to use PP-R tubes instead of steel split sets.

Key words: Rock bolts, Split sets, Frictional rock bolts, Polymeric support materials, Steel corrosion, Polypropylene

* Araş. Gör., Karadeniz Teknik Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON, ekomurlu@ktu.edu.tr
** Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

GİRİŞ

Split setler 1970'li yılların başlarında bulunmuş olan ilk sürtünmeli kaya saplamalarıdır. Split setler üzerine yapılan ilk yayın 1974 yılında "Zemin kontrolü problemleri için sürtünmeli kaya saplamaları ve uygulamaları" ismi ile Dr. J. J. Scott tarafından sunulmuştur. Split setler boyları genellikle 2 ile 3 metre aralığında değişen uygulandıkları delik çapından daha büyük nominal çapa sahip ve kesitlerinde genelde 1.25 cm veya 1.5 cm eninde yarık bulunduran kaya saplamalarıdır. Nominal çaplarından daha küçük çapta delinen deliklere montajları yapıldığı esnada yarıktaki daralma ve çaplarındaki azalma nedeni ile delik çeperine basınç uygulama ve sürtünme ile yük taşıma özelliklerine sahiptirler (Davis, 1979; Komurlu vd., 2014; Brady ve Brown, 2005).

Split setler deliğe montajları yapılması ile hemen yük taşımaya başlayabilen, dolgulu saplamalarda olduğu gibi enjeksiyon malzemesinin kürlenmesi için beklemeye gerek olmayan, yüksek deformasyon değerlerinde taşıma kapasitelerini önemli ölçüde koruyarak ideal tahkimat reaksiyonları gösterebilen saplamalardır. Uygulamaları pratiktir ve dolgulu ribar saplamalara nazaran hatalı işçilikten kaynaklı taşıma kapasitesindeki düşüş ihtimali oldukça azdır. Ancak, yeraltı suları ile direk temas halinde olmaları nedeni ile erken korozyona uğrayabilmektedirler.

Özellikle, uzun süreler ve asidik yeraltı suları ile temas durumları için önemli oranda taşıma kapasitelerini kayıp etmektedirler. Korozyondan koruma amaçlı galvaniz kaplamalar kullanılıyor olsa da, deliğe uygulama esnasındaki çizilmeler nedeni ile galvaniz yüzeyin korozyonu önlemekten ziyade uzun süreli korozyonda azalmalara imkan sağlaması söz konusu olmaktadır (Hoek, 2006; Komurlu ve Kesimal, 2014; Hassel ve Villaescusa, 2005).

Split setlerin taşıma kapasitelerinin artırılması adına saplama çapının delik çapına oranının artırılması bir seçenek olsa da bu durum montaj esnasında yüzeye etkileyen gerilmeleri de artırmış olduğu için korozyon problemi artmaktadır. Delik çapının kaya saplaması çapına oranı split set uygulamaları için tipik olarak 0,90 ile 0,95 arasında değişmektedir. Split setlerin yük taşıma kapasitesini etkileyen iki temel unsur zemin ve saplama yüzeyindeki normal gerilme ve sürtünme katsayısıdır (Li vd., 2014; Heerden, 2007; Qingliang vd., 2013). Yarıktaki ve dolayısı ile çaptaki daralma nedeni ile yüzeye etkileyen nor-

mal gerilmenin yüksek olması adına kaya saplamasının rijit bir malzeme kullanılarak üretilmiş olması avantaj sağlayacak olsa da, rijit bir yüzey nedeni ile delik yüzeyi şekilleri iyi alınmamakta, sürtünme katsayısı düşmektedir.

Kaya kütlesi deformasyonu nedeni ile kaya saplamaları için iki temel yüklenme mekanizmaları aksel ve makaslama etkileri başlıkları altında incelenebilir. Zemin süreksizliklerinin hareketi ile makaslanan kaya saplamalarında aynı zamanda eğilme etkisi görülmekte ve eğilme momentleri oluşmaktadır. Genellikle, kaya kütlesi içerisinde makaslama etkisi aksel yüklenme ile birlikte yaşanmakta ve delik yüzeyindeki sürtünme hem aksel yük hem makaslama etkileri açısından taşıma kapasitesini belirleyici olmakta, tahkimat reaksiyonlarını etkilemektedir (Pellet ve Egger, 1996; Srivastava ve Singh, 2014; Oreste ve Cravero, 2008).

Sürtünmeli kaya saplamaları tercih edilirken delik yüzeyi ile olan etkileşim ve malzeme dayanımı göz önüne alınmalıdır. Duraysızlık sürtünme yüzeyinden başlayabileceği gibi yüksek makaslama ve/veya aksel yüke maruz kalan bir saplama gövdesinin yenilmesi şeklinde de gerçekleşebilmektedir. Dayanım değerlerinin yanı sıra, tercih edilen malzemeye ait deformasyon modülleri (Elastisite modülü, Rijidite modülü) tahkimat reaksiyonları açısından belirleyicidir (Li vd., 2012; Kömürlü ve Kesimal, 2013; Strygin, 1965).

Saplama malzemesine ait Elastisite modülü değeri tahkimat uygulanan zemin reaksiyonlarını iki temel nedene bağlı olarak etkilemektedir. Bunlardan ilki, zemin deformasyonu ile saplamanın deformasyona uğraması ve tahkimat katılığına bağlı olarak kaya kütlesi deformasyonuna müsaade etmesidir (Deb ve Das, 2014; Aziz vd., 2003). İkincisi ise yarık daralması esnasında malzeme rijitliğine bağlı olarak delik yüzeyine uygulanan gerilmenin sürtünme ile yük taşıma kapasitesini ve sürtünme yüzeylerinin rijidite modülünü belirlemesinden kaynaklanmaktadır (Soni, 2000; Akkiriş, 2014; Kömürlü ve Kesimal, 2012a).

Çelik split set alternatifi olması açısından polimer malzeme türüne bağlı olarak nispeten daha kalın duvarlı tüplerin kullanımına ihtiyaç olmaktadır. Eğer dayanımı ve Elastisite modülü oldukça düşük olan çeşitli polimer malzemelerden birisi kullanılıyor ise katı kesite sahip saplamaların kullanımı durumunda dahi istenen tahkimat reaksiyonları sağlanamayacaktır. Bu yüzden,

malzeme tercihinin son derece önemli olduğu ve sonuçları etkileyeceği açıktır. Aynı zamanda, yüksek dayanıma sahip mühendislik polimerlerinin fiyatları düşünüldüğünde ekonomik bir çözüm sunmak adına, alternatif malzemelere yönelik kapsamlı bir inceleme yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Split set uygulamalarında delik içerisine montajı yapılan tüp kesitinde yarık bulunması nedeni ile tahkimat performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Polimer tüp uygulamalarında yarık eni delik çapına bağlı olarak seçilip, delik içinde yarık kenarlarının temas etmesi ve tüp çapındaki bir miktar azalmanın yüzey deformasyon özellikleri nedeni ile gerçekleşmesi hedeflenmiştir. Yarığın delik içine itirildikten sonra kapanmasının delik yüzeyine uygulanan normal gerilmeyi ve dolayısı ile sürtünme ile yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkileyeceği düşünülmüştür. Ayrıca, bu uygulamada tüm delik yüzeyi ile temas olması nedeni ile de taşıma kapasitesi açısından avantaj sağlanması beklenmiştir.

Kaya saplaması duvar (et) kalınlığı arttıkça delik içindeki çap daralması nedeni ile delik yüzeyine uygulanan gerilme artmaktadır. Yarığın temas edip yüzeyin sıkışması delik temas yüzeyine etkileyen gerilmelerin artmasına neden olacak ve bu sebeple kaya saplamalarının taşıma kapasitelerinde artış görülebilecektir. Ancak, çelik saplamalar için yalnızca yarık daralması yolu ile sürtünme yüzeyine normal gerilme sağlanabilmektedir. Delik içinde yarık olması nedeni ile makaslama etkisi altında kaya saplamalarının tahkimat reaksiyonları yarık konumu ve kuvvet doğrultusuna bağlı olarak önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, yarık içermeyen bir kesit kaya kütlesi hareketleri karşısında tahkimat katılığını (rijitliğini) ve dayanımını artırılabilir.

Kaya saplaması ve delik yüzeyindeki sürtünme kuvvetlerine karşı direncin yüksek olması yalnızca aksel yüklerle karşı kaya saplamalarının performansını artırmayıp, aynı zamanda makaslama gerilmelerine maruz kalan kaya saplamaları için de taşıma kapasitesini artırmaktadır. Bu konuda arayüzey tokluğu mikro sıyrılmaların ilerlemesi konusundaki direnci belirleyecek ve elastik deformasyon limitine bağlı olarak sıyrılmaya başlangıcı, bir diğer ifadeyle plastik deformasyon engellenebilecektir. Temas yüzeyinin pürüzlülüğü arayüzeyin elastik deformasyon limitini ve çatlak ilerleme direncini artıran bir unsurdur. Polimer yüzeylerin bu konuda sağlayacağı avantaja ek olarak, kendi elastik deformasyon limitle-

rinin yüksek olması ve sünek malzeme özellikleri de arayüzeyin çatlak ilerleme direnci açısından olumlu etkilere sahiptir (Bengisu ve Akkaya, 1999; Akono vd., 2012; Czichos, 1986; Moliq, 1994).

Kaya saplaması malzemesi tercihinde en önemli unsurlardan biri de malzemenin kimyasal direncidir. Korozyon problemi olmayan bir malzeme kullanılarak aynı zamanda çelik split setlerdeki su yalıtım malzemesi masraflarından kaçınılmış olacaktır. Kimyasal direnç ve fiyat maliyeti olarak sergiledikleri yüksek performansları nedeni ile polietilen ve polipropilen türü termoplastikler Dünya'da en yaygın kullanılan iki polimer malzemedir. Günümüzde bu malzemeler gıda, ilaç ve kozmetik paketleme işlemleri, içme suyu taşıma ve depolama uygulamaları gibi kimyasal direncin çok önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Kömürlü vd., 2014; Lyons, 2013; Piringer ve Baner, 2008). Ayrıca, yaklaşık olarak çelikten 7 kat daha hafif olmaları bu malzemelerin kullanım pratikliği açısından önemli avantaj sağlamaktadır (Kömürlü ve Kesimal, 2012a; Kömürlü ve Kesimal, 2012b).

Mekanik özelliklerine bakıldığında aynı isime sahip olan polimerlerin üretim detaylarına bağlı olarak farklılıklar sergiledikleri görülebilmektedir. Polimer malzeme tercihinde tipik dayanım değerlerinin göz önünde bulundurulması gibi farklı ürünlerin kıyaslanması adına ürün detaylarının dikkate alınması gereklidir. Mekanik özellikleri nedeni ile tercih edilen polimerler genellikle mühendislik polimerleri olup, Poliamid, ABS, Akrilik gibi türler en popüler olanlarındandır. Bu tür mühendislik polimerlerinin fiyatları da nispeten daha yüksektir. Kaya saplamalarının uygulanacağı zemindeki suyun kimyasal özelliklerine bağlı olarak polimer ürünler tercih edilmelidir.

Polimer malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için lif katkıları üretim yaygınlaşmış bir yöntemdir. Cam lif katkıları bu amaçla en yaygın kullanılan lif türüdür. Cam lif katkıları polimer kompozitlerin elastisite modülü de dayanım değerleri gibi lif katkısız polimerlere nazaran yüksektir. Çeşitli polimer malzemelere yönelik tipik dayanım ve deformasyon modülü değerleri oda sıcaklığı şartı için Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Çeşitli Polimerlerin Tipik Dayanım, Deformasyon Modülü ve Özgül Ağırlık Değerleri (Kömürlü ve Kesimal, 2012b)

Polimer türü	Çekme dayanımı (MPa)	Özgül ağırlık	E (GPa)	Eğilme dayanımı (MPa)	Eğilme modülü (GPa)
ABS	75-80	1.04	2-3	75	2.5
ABS+30% cam lif	115	1.54	8-9	120	7
Poliamid-6	80-90	1.20	3-4	85	2.3
Poliamid-66	80-90	1.14	3-4		
Polimid	220-240	1.42	4-5	175	5.5
Polimid+40% cam lif	250-270	1.90	10-12	270	12
Poliyeten (HDPE)	30-40	0.94	1-3	45	1.2
Polipropilen	30-40	0.91	2-3	45	1.5
Polipropilen+30% cam lif	50-70	1.12	4-6		
Polistren	60-70	1.05	3-4	40	1.5
Poliüre	20-30	1.25	0.2-0.5		

Delik içerisinde sıkışma sonucu yüzeyin elastik olarak deformasyona uğraması sürtünme yüzeyine uygulanan kuvveti artıracaktır. Polimer malzemenin elastisite modülü değerinin yüksek olması aynı zamanda çapsal daralma nedeni ile kaynaklanan yüzeye temas kuvveti ve sürtünme ile yük taşıma anlamında önemlidir. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında çelik split set kaplama malzemesi olarak poliüre türü malzeme denenmiş ve Çayeli Bakır İşletmeleri'ne ait yeraltı galerilerinde taşıma kapasitesi testlerinde (çekme testi) olumlu sonuçlar alınmış ve polimer yüzeylerin çelik yüzeylere nazaran delik içerisinde daha yüksek sürtünme ile yük taşıma kapasitesi sağlayabildiği görülmüştür (Kömürlü ve Kesimal, 2014).

Ancak, poliürenin çeliğe alternatif bir gövde malzemesi olarak kullanımı uygun değildir. Yüzey özelliklerinin yanı sıra gövde dayanımı ve deformasyon özelliklerinin malzeme seçimi konusunda dikkate alınması gerekmektedir. Basit bir yaklaşımla, kesitin eksenel yük taşıma kapasitesi kesit alanı ile oranlandığında, çekme dayanımı 45 MPa olan bir polimer malzeme 2 mm duvar kalınlığında 4 cm dış çapa sahip bir çelik split set tüp ile yaklaşık aynı eksenel yük taşıma kapasitesine sahip olması için kesitinde boşluk bulundurmamalıdır (çeliğin akma dayanımı 250 MPa olarak dikkate alınmıştır). Bu durumda kesitinde boşluk bulunan bir tüp kullanmak için 45

MPa üzerinde çekme dayanımı değerine sahip bir malzeme kullanmak gerektiği anlaşılmaktadır. Bu durumda mühendislik polimerleri kullanımı veya lif katkılı polimer kompozitlerin kullanımı söz konusu olabilmektedir. Eksenel yük taşıma kapasitesinin yanısıra gövdenin makaslama dayanımı ve rijitliği polimer tüplerin çelik split set alternatifi olarak kullanılabilirliği konusunda belirleyici özelliklerdir.

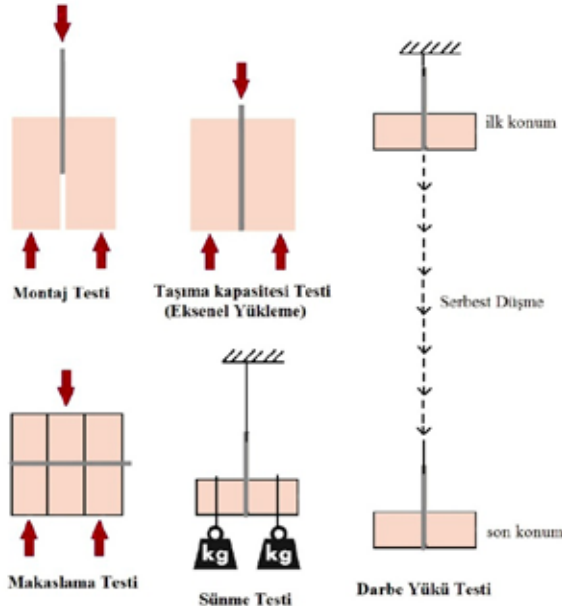
Bu çalışma için lif katkılı polipropilen random kopolimer (PP-R) malzemenin ekonomik olarak istenilen mekanik özellikleri sağlayabileceği değerlendirilmiş ve deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere temin edilmiştir. Kimyasal direnci yüksek olması nedeni ile içme suyu taşımak için yaygın kullanılan malzemelerden biri olan PP-R normal homopolimer polipropilenlere nazaran daha yüksek darbe dayanımına, elastik deformasyon aralığına, çatlak direncine sahiptir. Çalışmada kullanılan lif katkılı PP-R tüplerin duvar kalınlığı 6 mm olup, bu değer tipik bir split set tüpün duvar kalınlığına nazaran 3 kat daha fazladır. Yüzey temas alanının artmasını sağlamak için çalışmada lif katkılı kompozit gövde üzerinde katkısız PP-R katmana sahip tüpler kullanılmıştır. PP-R fiyat performans olarak uygun bir malzeme olup, darbe dayanımının yüksek olması kaya patlaması problemlerine karşı avantaj sağlayabilecektir. Kaya patlamaları yaşanan zeminde yüzey sürtünmeleri nedeni ile belirli

temas uzunluğu üzerindeki kaya saplamalarının gövdeleri yenilebilmektedir. Kaya patlaması problemleri ile mücadele edilmesi adına polimer malzemeler yüksek enerji emme kapasiteleri ve darbe dirençleri nedeni ile tercih edilmektedirler (Kömürlü, 2012; Wu ve Oldsen, 2010; Archibald ve Dirige, 2006).

1. DENEYSEL YÖNTEM

DeneySEL çalışmalar kapsamında 25cm x 25cm x 15 cm boyutlarında kumtaşı blokları temin edilmiş ve herbirine 25 cm uzunluğundaki kenarları doğrultusunda 36 mm çapına sahip karotiyer ile delikler delinmiştir. Bu deliklere farklı kaya saplaması numuneleri (polimer ve çelik) monte edilerek deformasyon kontrollü olarak tahkimat performansları incelenmiştir.

Polimer sürtülmeli kaya saplamalarının tahkimat performanslarının değerlendirilmesi ve çelik saplamalar ile kıyaslanması adına aşağıdaki alt başlıklar halinde verilen deney programları gerçekleştirilmiştir. DeneySEL çalışmalara yönelik şematik bir gösterim Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 2-5’te ise testlerde kullanılan kaya blokları ve hazırlık işlemleri görülmektedir.



Şekil 1. DeneySEL Çalışmaların Şematik Gösterimleri



Şekil 2. Delik Delinecek Konumun Bloklar Üzerinde İşaretlenmesi



Şekil 3. Delik Delinecek İşaretlenmiş Yer



Şekil 4. Delik Delme İşlemi



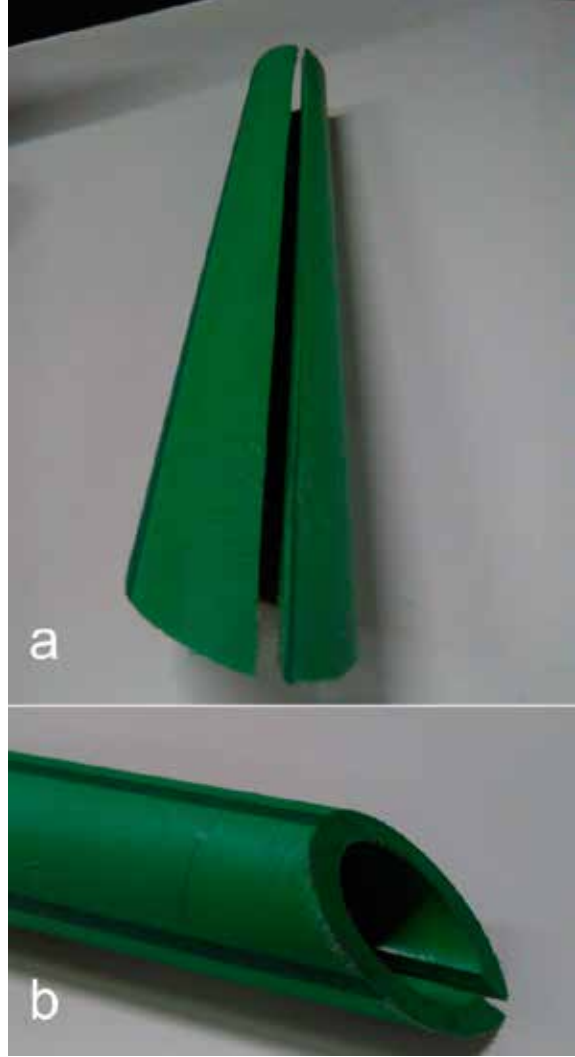
Şekil 5. Kesilmiş ve Kesilecek Makaslama Testi Numuneleri

Kaya blokları makaslama testlerinde kullanılmak için kesilerek üç eş parçaya bölünmüş ve ortadaki bloğun ittirilmesi, sağ ve sol tarafta kalan blokların ise mesnetlenmesi neticesi ile delik içine montajı yapılmış kaya saplamalarının makaslama tepkileri incelenmiştir.

40 mm çapındaki polimer tüplerin montajları için uçları 45° açı ile kesilmiştir. Delik içinde yarığın teması için yarık eni 8 mm olarak seçilmiştir ve yarıklar tüplerin uzun kenarı boyunca açılmıştır (Şekil 6). Montaj için hazır olan polimer saplamaların uzun kenarı 33 cm ve kısa kenarı 29 cm uzunluğundadır. Kullanılan split setlerin konik uçları nedeni ile deliğe montajları gerçekleştirilebilmiştir. Çelik split setlerin konik uçları montaj tamamlandığında dışarıda olacak şekilde taşıma kapasitesi testlerinde delik içine tamamen temas halinde kullanılmışlardır. Montajın devam edeceği konumu belirlemek için split setlerin konik kısımları Şekil 7'de görüldüğü gibi işaretlenmiştir. 10 cm uzunluğa sahip olan konik kısmın 5 cm uzunluğundaki uç kısmı test düzeneğindeki alt delik derinliği nedeni ile kesilerek split set numuneleri montajları yapılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Split set numuneleri toplam uzunlukları konik uç dahil 35 santimetre boyutuna sahip olacak şekilde hazırlanmışlardır.

1. 1. Montaj Testi

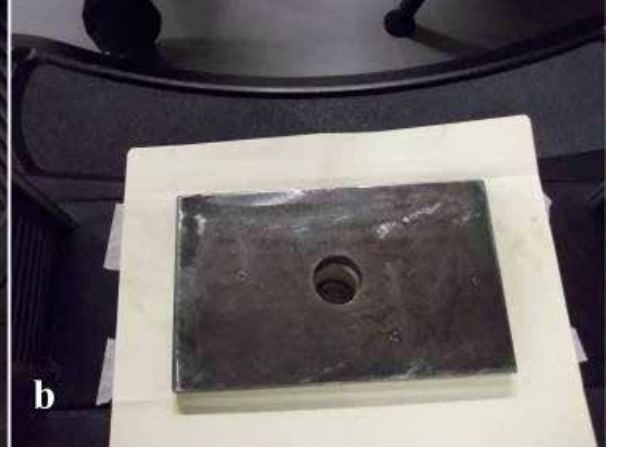
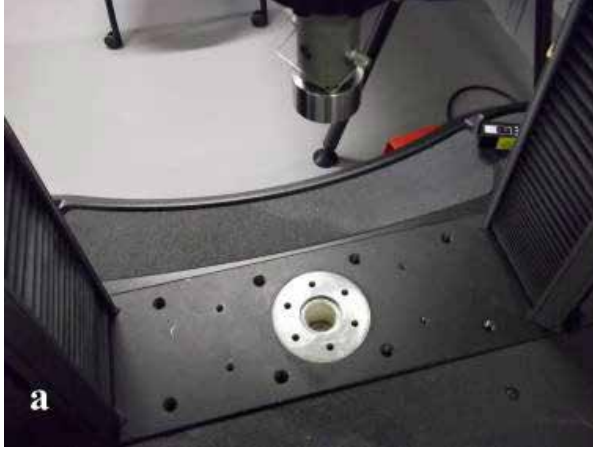
Montaj testinde amaç farklı kaya saplamalarının delik içine uygulanmalarının ne derece pratik olduğunu tayin etmektir. Bu test deformasyon kontrollü olarak gerçekleştirilip delik temas yüzündeki deformasyonlara bağlı olarak saplamaların montajı için gerekli yükler incelenmektedir. Montajı yapılacak bloklar 5 santimetre çapında



Şekil 6. Montaj İçin Hazır Polimer Tüp



Şekil 7. Montaj İçin Hazır, Uçları Kesilmiş Çelik ve Polimer Saplama Numuneleri



Şekil 8. a) Pres Makinası Alt Deliği, b) Delikli Alt Platen

delinmiş olan alt çelik platen üzerine yerleştirilmişlerdir (Şekil 8). Test ekipmanının çapı 6 santimetre olan üst yükleme plateni kesiti ve kaya blok deliği kesiti merkezlerinin düşey doğrultuda aynı hizada olacak şekilde yerleştirilmesinden sonra montaj için hazırlanmış olan kaya saplaması numuneleri ilk olarak deliğe el ile yerleştirilip delik içine pres makinası yardımı ile ittirilmeden önce düşey hizada (düşey ile paralel) olduklarının kontrolleri yapılmıştır (Şekil 9). Yüklemeye başlamadan önce üst platen ve kaya saplamalarının merkezlerinin kesiştiği kontrol edilmiştir.



Şekil 9. Saplamanın Düşey İle Paralelliğinin Kontrol Edilmesi

Tüm hizalama (saplamaların düşey doğrultu ile paralelligi, blok içindeki delik ile alt platen deliği ve üst platen kesit merkezlerinin kesişimi ve kaya saplaması ile üst platen kesitlerinin temas halinde merkezlerinin kesişmesi) ölçülerinde 1 mm maksimum sapmaya müsaade edilmiştir.

Kaya saplaması numuneleri delik içine itilirken yükleme hızı 100 mm/dakika olarak seçilmiştir (Şekil 10). Kaya saplamaları ile kaya bloğu deliği içinde tam temas sağlanması için polimer tüplerin açılı kesilen uçları tamamen dışarı çıkana kadar itilmişlerdir. Çelik split set tüplerin ise montajları öncesinde işaretlenen uç kısımları dışarda kalacak şekilde montajları tamamlanmıştır.

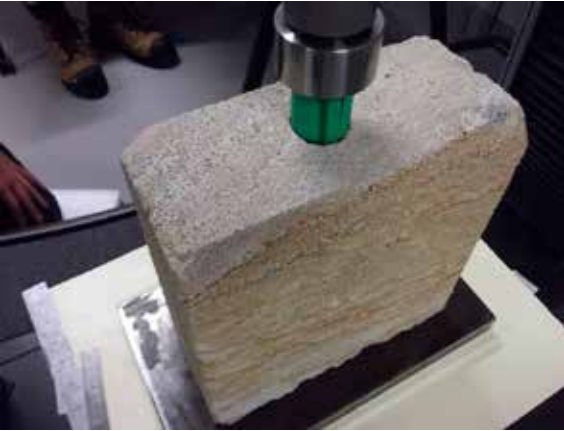
Makaslama numunelerinin montajı için 3 parça halinde kesilmiş bloklar sırası ile üst platen dairesel kesitine göre hizalanarak yerleştirilmiştir. Bloklar üst üste yerleştirildikten sonra dış kenarlarından hizalanmış ve delik içlerinin hizalı oldukları kontrol edilmiştir. Ek olarak ikinci ve üçüncü parçalar konulduğunda delik içine 35 mm çapında bir çubuk sokularak parçaların temas konumlarının hizalı oldukları kontrol edilmiştir.



Şekil 10. Kaya Saplaması Montaj Testi

1. 2. Eksenel Yük (İtme) Testi

Montajı tamamlanmış olan kaya saplamalarının korozyon etkisini tayin etmek amaçlı farklı bekleme sürelerinde sürtünme ile yük taşıma kapasitelerinin incelenmesi adına eksenel yük testi deformasyon kontrollü olarak uygulanmıştır (Şekil 11). Bu sebeple, tahkimat katılığı (kN/mm) da eksenel yük testleri kapsamında tayin edilebilmiştir. Montajları tamamlanan numunelerin bir kısmı uzun dönem testleri için kür havuzuna alınmışlardır. Kür havuzu uygulaması için musluk suyu ile doldurulmuş olan konteynırlar kullanılmıştır. Kısa dönem testleri ise montajların ertesi günü uygulanmışlardır. Saplamaların kaya deliği dışına çıkmış olan, yükleme testi başında alt platen deliğine giren 40 milimetrelük uç kısımlarına ek olarak delik içerisinde 50 milimetrelük ek deformasyon limitleri dahilinde itme testleri 35 milimetre deformasyon miktarına kadar devam ettirilmiştir. İtme testleri uygulanmadan önce kaya saplamaları ve üst platen kesit merkezleri temas halinde aynı düşey doğrultuda olacak şekilde hizalanmışlardır ve 50 mm/dakika yükleme hızı ile düşey yönde itme testleri uygulanmıştır.



Şekil 11. İtme Testi Uygulanan Montajı Tamamlanmış Numune

1. 3. Makaslama Testi

Sağ ve sol blokların mesnetlenmesi ve ortadaki bloğun düşey yönde itilmesi nedeni ile deformasyon kontrollü olarak polimer ve çelik saplamaların makaslama gerilmelerine karşı tepkileri test edilmiştir. Makaslama testleri de itme testleri gibi korozyon etkisini incelemek için farklı sürelerde bekletilmiş olan numunelere uygulanmıştır (1 gün ve 6 ay). Korozyon etkisinin görülmesi adına montajı yapılmış bloklar su içinde bekletilmiş-

lerdir. Makaslama testi sonuçlarının çelik tüplerin yarık konumuna bağlı olarak değişmesi beklendiğinden, yarık ve yükleme doğrultusu arasındaki açı 45° olacak şekilde numune montajları yapılmıştır (yarık kenarlarını bağlayan doğru düşey ile 45° açıda sahiptir). Üç parça halinde kesilmiş olan makaslama testi blokları sıra ile hizalanarak yerleştirilmiş ve kaya saplaması numuneleri montajları itme testi numunelerinde olduğu gibi 100mm/dakika yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Makaslama testlerinde ve itme (eksenel yükleme) testlerinde kullanılan kaya saplamaları aynı özelliklere sahiptir. Ayrıca, makaslama testlerinde kullanılan kaya blokları itme testlerinde kullanılan bloklar ile aynı fiziksel özelliğe sahip olup aralarındaki fark makaslama testlerinde kullanılan blokların üç eş parçaya kesilerek ayrılmış olmalarıdır.

Makaslama numuneleri için kaya saplaması montajları yapıldıktan sonra uzun dönem numuneleri kür havuzuna alınmış ve kısa dönem numuneleri ise ertesi gün teste taabi tutulmuşlardır. Makaslama testleri için 3 parça halinde kesilmiş blokların sağ ve sol parçalarının altına düz yüzeyli 50 milimetre yüksekliğinde çelik platenler yerleştirilmiş ve ortadaki bloğun üst platen tarafından itilmesi neticesinde testler uygulanmıştır (Şekil 12). Makaslama testleri blok numuneleri içindeki yatay konumdaki kaya saplamalarının kesit merkezleri ve üst platen kesit merkezinin düşey doğrultuda kesişmeleri için yükleme öncesi numuneler hizalanmıştır. Makaslama testlerinde yükleme hızı 10 mm/dakika olarak seçilmiştir.

1. 4. Çapsal Daralma Testleri

Çapsal daralma testleri için 20 santimetre uzunluğundaki çelik ve polimer tüpler yarık kenarları arasındaki doğru yükleme doğrultusu ile paralel olacak şekilde v bloğu kanalı içine yerleştirilmiştir (Şekil 13). Bu test ile kısa dönem ve su içinde kürlenmiş numunelerin birim çapsal daralmaları için gerekli olan yükler incelenmiştir. Çapsal daralma testi uygulanarak numunelerin yarıklarındaki daralma nedeni ile delik yüzeyine etkileyen normal gerilmeler hakkında karşılaştırma imkanı bulunabilmiş ve paslanma neticesinde değerlerdeki değişimin korozyona bağlı olarak sürtünme ile yük taşıma performansı üzerindeki etkileri hakkında bilgi elde edilebilmiştir. Çapsal daralma testlerinde kullanılan 7 cm x 7 cm boyutlarındaki kare kesitli üst platen saplama numuneleri uzunluklarını ortalayacak şekilde yükleme yapılmıştır.



Şekil 12. a) Makaslama Testi, b) Makaslanmış Polimer Saplama

1. 5. Sünme Testleri

Sünme direnci analizleri için itme testinde kullanılan bloklar kullanılmıştır. Kısa dönem itme testleri uygulanan, uçları montajları öncesinde delinmiş ikişer adet polimer ve çelik tüp numuneleri, itme testlerinden sonra deliklerine bağlanan metal teller yardımı ile asılmışlardır. 15 kg kütleyle sahip bloklar üzerine Şekil 14'te görüldüğü gibi konulan ekstra 15 kilogram değerindeki yükler ile 25 santimetre uzunluğundaki sürtünme yüzeyine yaklaşık 300 N düşey yük bir ay süre ile etki etmiş ve bu süreç sonunda sünme testi



Şekil 13. Çapsal Daralma Testi

numunelerine Şekil 14'de görüldüğü gibi ekstra 24 kilogram yük daha eklenerek, saplama ve blok sürtünme yüzeyine toplam yaklaşık 540 N değerinde kuvvet etmiştir. Bu durumda, 2.16 kN/m değerindeki sabit yük altında numuneler 6 ay süre ile sünme testine taabi tutulmuşlardır. Delik ve saplama sürtünme yüzeyindeki sünme etkisinin incelenmesi için tüplerin blok dışına çıkmış olduğu sınırları işaretlenmiş ve sürtünme yüzeyindeki deformasyon, bloğun kayması neticesinde oluşabilecek yer değiştirmeler bu referans çizgilere bağlı olarak tayin edilmiştir. Sürtünme yüzeyindeki sünme analizlerinin yanı sıra, kaya saptamalarının blok dışında kalan kısımlarının boylarındaki hassas ölçüm yolu ile tüplerin de sünme etkileri incelenebilmiştir.

1. 6. Darbe Testleri

Polimer ve çelik saplama sürtünme yüzeylerinin darbe etkilerine karşı, kaya patlama problemlerinde olduğu gibi ani yüklenme durumundaki taşıma kapasiteleri değerlendirilmektedir. Bu test için bloklara montajı yapılmış kaya saptamalarının blok içine montajı yapılmayan kısımlarında delikler delinmiş ve bu deliklere yüksek dayanımlı çelik halat ile ağırlıklar bağlanmıştır. Delikler tüp kesitlerinin merkezinden ve karşılıklı tüp



Şekil 14. a) Askıdaki Polimer Saplmalı Bloklar, b ve c) Blok Üzerine Konan 15 Kilogram Yük, d) Blok Üzerindeki 39 Kilogram Ağırlık

duvarlarından geçecek şekilde delinmiştir. Ağırlıklar belirli bir yükseklikten düşüklerinde bağlı oldukları halatın hareketi durdurması sebebi ile sahip olunan kinetik enerji sürtünme yüzeyinde kayma şeklinde harekete neden olmuştur. Darbe dayanımı testleri numunelere bağlanmış ağırlıkların serbest düşme hareketi ve halat boyu yüksekliğindeki hareket tamamlandıktan sonra ani durma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu test, yüzeydeki sürtünmelere bağlı olarak bloklar saplamalardan sıyrılanaya kadar 1 metre uzunluğundaki halat ucuna takılan ağırlıklar her basamakta 4 kilogram artırılarak uygulanmıştır.

Sürtünme yüzeyi uzunluğu 8 cm olmak üzere darbe dayanımı testlerinde kullanılan bloklar 15 cm x 25 cm x 8 cm boyutlarındadır. Farklı ağırlıkların 1 metre yükseklikten düşmesi ile polimer ve çelik saplamaların kaya bloğu sürtünme yüzeyi ile darbe etkisinden kaynaklı deformasyon miktarları ve tamamen sıyrılmaları için gerekli enerji miktarları hesaplanmıştır. Şekil 16'da görüldüğü üzere ağırlıkların takıldığı kanca yukarı çekilip plastik bir kelepçe yardımı ile askıya alınmış ve test edilen ağırlıkların asılması ardından plastik kelepçe kesilerek saplamalara çelik halat ile bağlı olan yükün düşmesi sağlanmıştır.

Darbe dayanımı numuneleri montajları öncesi saplamaların delik içine tam teması için split set konik uçlarının ve polimer tüplerinin açılı kesilmiş olan uçlarının sınırları çizilmiştir. Darbe dayanımı numunelerinin montajları tamamlandığı zaman çizilmiş uç sınırlarından daha fazla bir uzunluğun delik içinden dışarı çıkmaması, dar-

be esnasında yalnızca delik içine temas eden 8 santimetre uzunluğundaki kısmın yük taşıma kapasitesinin test edilmesi için delik boyu olan 8 santimetre uzunluğundaki kısım saplamalar üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 15). İşaretlenmiş bu aralık blok içinde kalana kadar numunelerin montajları gerçekleştirilmiştir. Darbe dayanımı numunelerinin montajları diğer test numunelerinin montajları gibi 100 mm/dakika yükleme hızı ile uygulanmıştır.

2. BULGULAR

Montaj esnasında elde edilen yük deformasyon ilişkileri Tablo 2-4'te itme testi, makaslama testi ve darbe testi numuneleri için verilmiştir. Sonuçlara göre polimer saplama numunelerinin montajları esnasındaki değerler arasındaki sapmaların çelik tüplere nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Polimer tüplerin montajı esnasındaki yük-deformasyon ilişkilerinin farklı numunelere göre gösterdiği geniş aralıktaki değişim Şekil 17'de verilmektedir.



Şekil 15. a) Çelik Split Setlerin Blok İçinde Sürtünme Yüzeyi Temas Konumunun Çizilmesi, b) Çelik Split Set Montajı, c) Polimer Tüplerin Blok İçindeki Temas Konumu Sınırlarının Çizilmesi, d) Montajı Tamamlanmış Çelik ve Polimer Tüpler



Şekil 16. a) Darbe Testi Deney Düzeneği, b) Plastik Kelepçenin Kesilmesi, c) Ağırlığın Düşmesi, d) Kaya Saplamasının Sıyrılmış Olduğu Numune

Tablo 2. İtme Testi Numuneleri Montajlarında Ölçülen Maksimum Yükler (P: Polimer, S: Çelik)

Numune ismi	Yük (kN)	Numune ismi	Yük (kN)
P1	4.87	S1	7.99
P2	2.99	S2	4.73
P3	6.57	S3	8.23
P4	4.32	S4	10.89
P5	9.83	S5	14.64
P6	2.65	S6	10.05
P7	4.60	S7	8.14
P8	14.33	S8	9.30
P9	8.64	S9	9.44
P10	8.26		
P11	13.70		
Ortalama	7.34	Ortalama	9.27
Standart sapma	4.03	Standart sapma	2.66

Tablo 3. Makaslama Testi Numuneleri Montajları Esnasında Ölçülen Maksimum Yükler

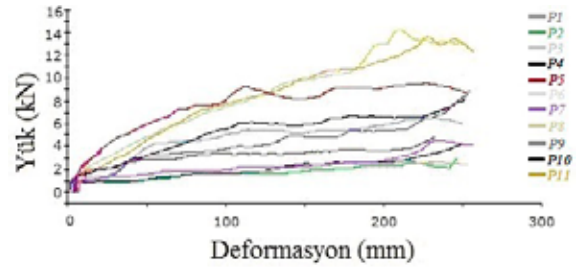
Numune ismi	Yük (kN)	Numune ismi	Yük (kN)
P1	7.51	S1	9.44
P2	2.51	S2	8.81
P3	6.43	S3	7.73
P4	5.40	S4	10.12

Table 4. Darbe Dayanımı Testi Numuneleri Montajlarında Ölçülen Maksimum Yükler

Numune ismi	Yük (kN)
P1	2.54
P2	5.70
P3	4.75
S1	7.60
S2	6.81
S3	7.49

Polimer tüplerin itme testlerinde elde edilen yük-deformasyon eğrileri ve ilişkilerinin çelik saplamalarınınkine nazaran farklı olduğu görülmüştür. Çelik tüpler maksimum yük değerine ulaştıktan sonra kayma esnasında benzer gerilmeler altında deformasyona devam ederken, polimer tüplerin delik içinde kaymaya devam etmesi için önemli ölçüde yük artışı yaşanmıştır. Tablo 5'te kaymaya başlanan yük ve 35 milimetre deformasyon sonrası testler sonlandırıldığında ölçülen yükler (ML) verilmektedir. Ek olarak, Şekil 18 ile çelik ve polipropilen tüpler için itme testlerinden elde edilen bazı yük deformasyon grafikleri verilmiştir.

Ayrıca, itme testlerinde kaymaya başlama (plastik deformasyon) için ölçülen yük değerleri (PL) ile montaj esnasındaki ulaşılan maksimum yük (IL) değerleri arasındaki oranlar da Tablo 5'te verilmektedir. Kısa dönem testlerinden elde edilen değerleri veren Tablo 5'teki aynı parametreler için uzun dönem testlerinden elde edilen değerler Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 17. İtme Testi Polimer Numunelerinin Montajları Esnasındaki Yük-Deformasyon İlişkileri

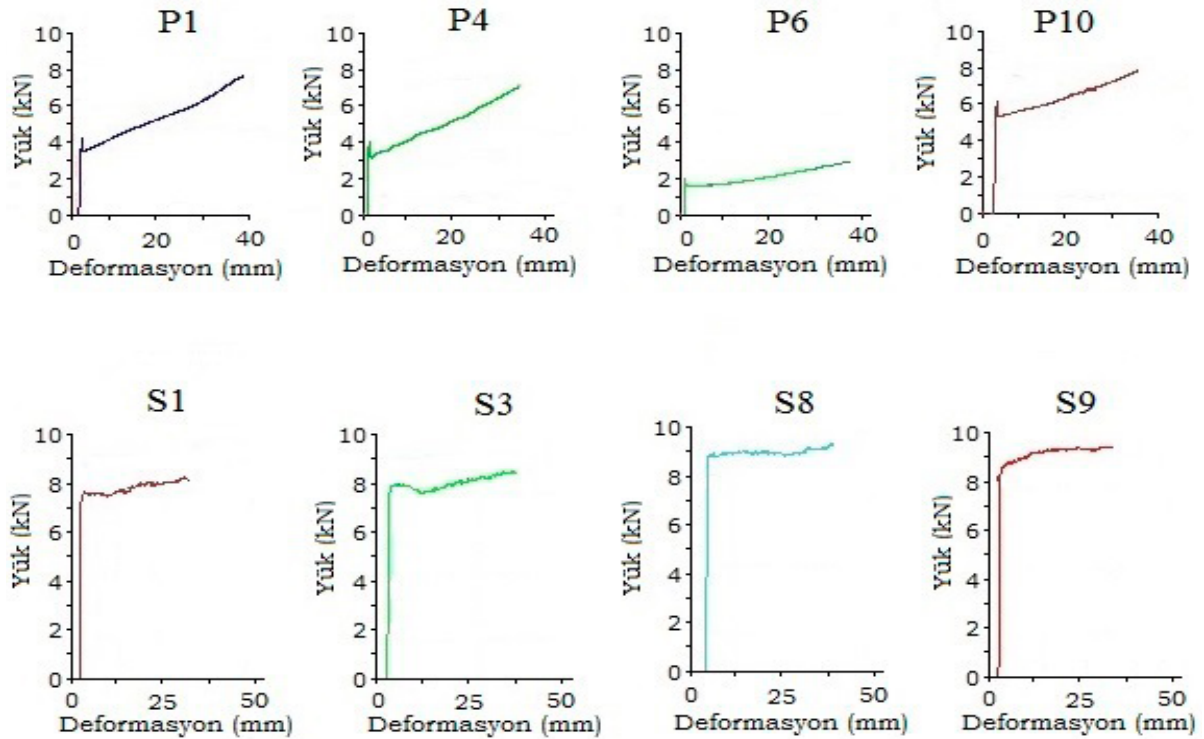
Makaslama testlerinden elde edilen maksimum yük ve plastik deformasyon öncesi yük deformasyon ilişkilerine yönelik ölçülen veriler Tablo 7'de verilmiştir. Tablolarda yer alan katılık değerleri saplamaların taşıma kapasitelerinin 50% değerlerine ulaştıkları gerilme ve deformasyon değerleri dikkate alınarak verilmiştir. Çelik tüp montajı yapılmış olan kısa dönem (paslanmamış) numunelerin makaslama testleri kaya bloğu kırılması nedeni ile sonlandırılmıştır. Polipropilen ve çelik saplamaların makaslama testlerinden elde edilen tipik yük-deformasyon ilişkilerini gösteren test sonuçları Şekil 19'da verilmiştir. Test sonuçlarına göre, polimer tüpler yenilme esnasında sünek malzeme özelliği göstermişlerdir. Uzun dönem makaslama testi numuneleri için testler blokların kırılması ile son bulmuştur. Makaslama testleri ile ölçülen katılık değerlerine göre polipropilen kompozit saplamaların çeliğe

Table 5. Kısa Dönem İtme Testi Sonuçları (P: Polipropilen, S: Çelik)

Numune ismi	PL (kN)	PL/IL (%)	Katılık (kN/mm)	ML (kN)	Numune ismi	PL (kN)	PL/IL (%)	Katılık (kN/mm)	ML (kN)
P1	4.18	86	3.93	7.72	S1	7.55	95	6.28	8.60
P4	4.07	94	6.46	7.03	S3	7.94	96	4.41	8.50
P5	6.05	62	4.81	4.06	S8	8.86	95	7.38	9.32
P6	2.00	76	3.78	2.91	S9	8.67	92	6.60	9.37
P8	8.71	61	5.53	7.70					
P10	6.16	75	6.41	7.95					
Ortalama	5.20	76	5.15	6.23	Ortalama	8.23	95	6.17	8.95

Tablo 6. Uzun Dönem İtme Testi Sonuçları (P: Polipropilen, S: Çelik)

Numune ismi	PL (kN)	PL/IL (%)	Katılık (kN/mm)	ML (kN)	Numune ismi	PL (kN)	PL/IL (%)	Katılık (kN/mm)	ML (kN)
P2	1.56	52	2.93	3.35	S2	3.59	76	2.38	3.91
P3	3.50	53	4.68	5.34	S4	6.92	64	3.65	6.04
P7	2.79	61	3.01	7.08	S6	6.96	69	3.31	7.59
P9	4.68	54	3.18	4.15	S5	8.08	55	3.09	7.88
P11	6.63	48	4.03	9.23	S7	4.82	59	2.94	3.96
Ortalama	3.83	54	3.57	5.83	Ortalama	6.07	65	3.07	5.88



Şekil 18. Kısa Dönem İtme Testleri Yük-Deformasyon Eğrileri

alternatif olabileceğine dair bulgu elde edilmiştir. Aynı zamanda, korozyona uğramış çelik split setlerin de aksel yüklemeye testlerinden elde edilen sürtünme yüzeyindeki yük deformasyon ilişkileri paslanma neticesinde çelik saplamaların katılık değerlerinde önemli bir azalma yaşandığını göstermiştir. Çapsal daralma testlerinden elde edilen maksimum yük değerleri ve yüke bağlı çapsal daralma ilişkileri sırası ile Tablo 8 ve Şekil 20'de verilmektedir.

Sünme ve ani yüklemeye (darbe) testlerinden elde edilen sürtünme yüzeyindeki deformasyon (sıyırılma) değerleri Tablo 9'da verilmektedir. Sünme testi sonuçlarına göre ise çelik ve polimer tüp-

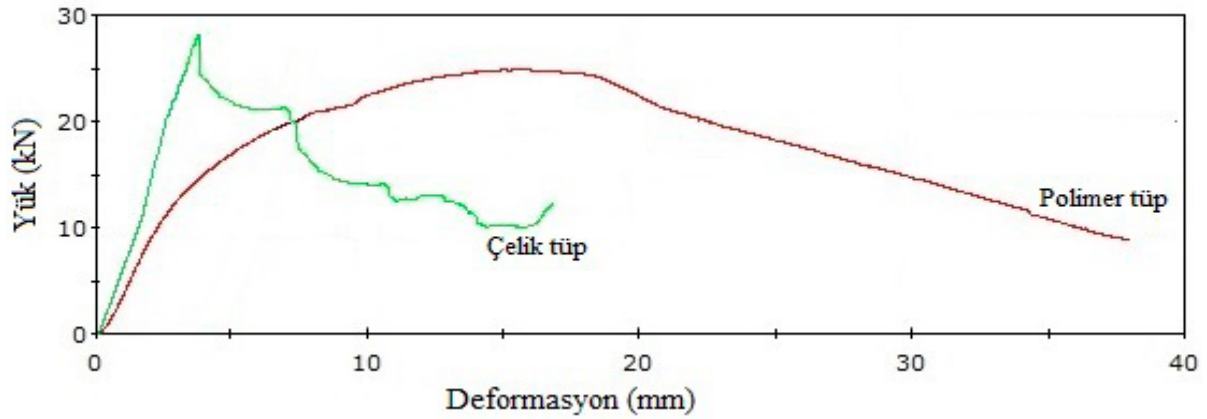
lerin 6 ay süre ile 540 N (sürtünme yüzeyi için 2.16 kN/m) sabit yük altında beklemeleri sonucu sürtünme yüzeylerinde veya saplama malzemelerinde deformasyon gözlemlenmemiştir.

3. MALİYET

Bu çalışma kapsamında test edilen cam lif katkıli PP-R kompozit boruların fiyatı perakende alımlar için 3,3 \$/metre değerindedir. 2 – 2,4 metre uzunluğunda tipik bir çelik split set fiyatının 7 \$ – 8 \$ aralığında olduğu göz önünde bulundurulduğunda, PP-R kompozit boruların çelik split setler ile benzer maliyetlere sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Makaslama Testlerinden Elde Edilen Maksimum Yük Değerleri

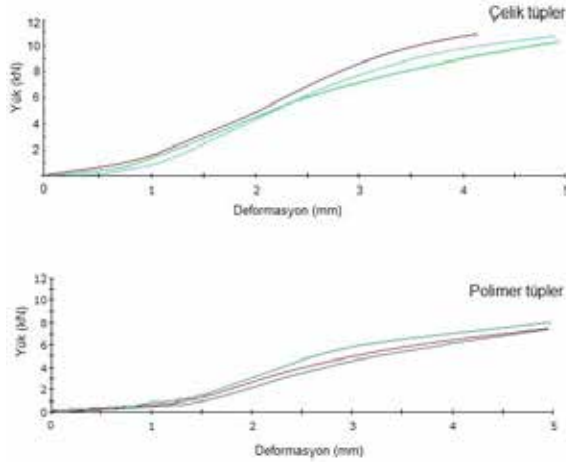
Kısa dönem			Uzun dönem		
Numune adı	Yük (kN)	Katılık (kN/mm)	Numune adı	Yük (kN)	Katılık (kN/mm)
P1	24.88	4.85	P3	20.63	3.95
P2	25.41	4.70	P4	19.16	4.36
S1	28.37	6.67	S3	21.67	4.51
S2	30.55	6.51	S4	20.04	5.02



Şekil 19. Çelik ve Polimer Tüpler İçin Kısa Dönem Makaslama Testi Yük-Deformasyon Eğrileri

Tablo 8. Çapsal Daralma Testi Verileri

Kısa dönem				Uzun dönem			
Numune adı	Yük (kN)	Numune adı	Yük (kN)	Numune adı	Yük (kN)	Numune adı	Yük (kN)
P1	7.14	S1	11.13	P1	8.03	S1	7.69
P2	6.87	S2	10.30	P2	6.71	S2	6.83
P3	7.39	S3	11.08	P3	7.14	S3	7.60
Ortalama	7.13	Ortalama	10.84	Ortalama	7.29	Ortalama	7.37



Şekil 20. Çapsal Daralma Testi Numuneleri İçin Yük-Deformasyon Grafikleri (kısa dönem)

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Polimer saplamaların itme testlerinde ve montajları esnasında çelik saplamalardan ölçülen yük değerlerine nazaran daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Polimer saplamalar için montaj esnasındaki ve itme testleri sırasındaki ölçülen yükler arasında önemli ölçüde fark olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile elde edilen bulguların da doğruladığı üzere delik içerisinde çapsal daralma nedeni ile gerilmeye maruz kalan saplamaların zaman içerisinde gerilme rahatlaması etkisi neticesinde yüzeye uyguladıkları normal gerilmelerin azalması sürtünme ile yük taşıma kapasitelerinde düşüşe neden olmaktadır (Kömürlü vd., 2015; Kömürlü ve Kesimal, 2014). Bu konuda polimer saplamaların tüp kalınlıklarının artması ve/veya kompozit gövde içerisindeki cam lif katkınının daha yüksek oranda olduğu ürünlerin seçimi avantaj sağlayacaktır (Ariyama vd., 1997; Deng ve Zhou, 2006).

Montaj testlerinde ulaşılan maksimum yük değeri artışı ile itme ve montaj testleri esnasındaki yük değerleri arasındaki farkın yükseldiği gözlenmiştir. Bu durum yüzeye etkiyen normal gerilme artışı ile gerilme rahatlamasından kaynaklı yüzeydeki normal gerilme değerinin daha çok azalması açısından beklenen bir durumdur (Razavi-Nouri, 2012). Montaj ve itme testleri sonuçlarına göre polimer yüzeylerin delik değişimi ile sürtünme katsayılarında önemli ölçüde farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle, polimer saplamaların zemin özelliğine bağlı olarak çeliğe nazaran tahkimat performanslarının daha çok etkilenmesi beklenmektedir. Polimer saplamaların montaj ve itme testlerinden elde edilen standart sapma değerlerinin çelik saplamaların değerlerine nazaran daha yüksek olması, sürtünme yüzeylerinin bağlı sertlikleri arasındaki farkın artması neticesinde yüzey pürüz şekillerine bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimin artışı doğrulamaktadır (Mikhin ve Lyapin, 1970; Kömürlü vd., 2014; Basavaraju ve Ranganatha, 2013).

Pratikte gerek kaya kalitesine gerekse delici özelliklerine bağlı olarak delik çapı değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle farklı kaya türlerinde delik çapı ölçümü yapılması ile farklı bitler kullanılarak istenilen delik çapına sahip olunması ve/veya farklı delik çapları için yarı boyutlandırımı yapılarak plastik gövdeli sürtünmeli kaya saplamalarının tahkimat performanslarının artırılabilirliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çapsal daralma testlerinden elde edilen verilere göre kullanılan polimer tüp yüzeylerindeki gerilmelerin çelik tüplere göre daha düşük değerlerde olduğu ve polipropilen yüzeyin delik yüzeyi ile sahip olduğu sürtünme katsayısının istenilen seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Deliklerin 36 mm olarak planlanması ancak delgi işleminden sonra

Tablo 9. Ani Yük Testi Sürtünme Yüzeyindeki Deformasyon Verileri (T.F=tamamen saplamanın kaya bloğundan sıyrılması)

Kütle	Polimer tüp			Kütle	Çelik tüp		
	Polimer tüp 1	Polimer tüp 2	Polimer tüp 3		Çelik tüp 1	Çelik tüp 2	Çelik tüp 3
4 kg	2.0 cm	0.5 cm	1.6 cm	4 kg	0	0 cm	0 cm
8 kg	1.8 cm	0.7 cm	2.2 cm	8 kg	1.8 cm	0 cm	1.1 cm
12 kg	1.8 cm	1.2 cm	2.1 cm	12 kg	2.3 cm	1.0 cm	2.0 cm
16 kg	T.F.	3.3 cm	T.F.	16 kg	TF	0.6 cm	2.8 cm
20 kg	-	T.F.	-	20 kg	-	3.5 cm	T.F.
24 kg	-	-	-	24 kg	-	T.F.	-

delik çaplarının delici bitlere nazaran 1 mm dolaylarında daha geniş olması nedeni ile 37 mm çapındaki delikler içinde plastik tüplerin yarık yüzeyleri istenilen ölçüde kapanmamış ve bu nedenle sürtünme yüzeyine etkiyen gerilmeler istenilen seviyenin altında kalmıştır. Şekil 21’de görüldüğü üzere yarık kenarlarının yalnız tüp dış çeperinde temas halinde olduğu, tüp iç kısmında temas halinde olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 21. Polimer Tüp Yarık Temas Yüzeyleri

Paslanma neticesinde çelik saplamalar için çapsal daralma testlerinde ölçülen yük değerlerinde önemli bir düşüş ve bu neden ile uzun dönem testlerinde sürtünme ile yük taşıma kapasitesinde korozyonun olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile çelik saplamaların paslanma problemi karşısında polimer tüplerin gerilme rahatlaması problemlerinin sürtünme ile yük taşıma kapasitelerini ne oranda değiştirdikleri kısa ve uzun dönem itme testleri sonuçlarına bağlı olarak incelenmiştir. Literatürden ulaşılan bilgiler polipropilen malzemelerin gerilme rahatlaması etkisinin kısa dönemde daha yüksek olduğunu ve delik içindeki çapsal daralma ve sabit birim deformasyon seviyesine bağlı olarak sürtünme yüzeyine etkiyen gerilme değerlerindeki azalmanın pratik olarak saatler mertebesinde durduğu bilinmektedir (Kömürlü ve Kesimal, 2015; Meredith ve Hsu, 1962; Yamaguchi vd., 2015; Phillips

ve Statton, 1970; Robert vd., 1994). Bu sebep ile kısa dönem testleri numunelerine kıyas ile daha yüksek oranda taşıma kapasitesini kayıp eden polimer tüplerden elde edilen sonuçlar açısından kaya bloklarının 6 ay süre ile su içerisinde ıslanma ve kaya malzemesinin deformasyon özelliklerinin değişmiş olması etkin bir role sahiptir (Vasarhelyi ve Van, 2006). Çelik saplamaların gerilme rahatlama süreleri polimer tüplere nazaran daha uzun olması nedeni ile uzun dönem itme testleri sonuçları üzerinde korozyona ek olarak olumsuz bir etkinin yaşanmış olması da mümkündür. Testlerde kullanılan çelik saplamaların musluk suyu ile temas halinde paslanmış olması ve sülfirik cevher içeren madenlerde olduğu gibi asidik yeraltı sularına sahip alanlarda çelik saplamaların daha yüksek oranda taşıma kapasitelerini kayıp ettikleri dikkate alınmalıdır (Kömürlü vd., 2014).

Delik içi sürtünme yüzeyindeki sünme etkisine yönelik blok asma testlerinden elde edilen sonuçlara göre herhangi bir kayma ve yüzeyde deformasyon gözlenmemiştir. Polimer saplamaların taşıma kapasitelerinin %20 dolaylarında yüke maruz kalan sürtünme yüzeylerinin 6 ay süre sonundaki sünme dirençlerinin istenilen seviyede olduğu görülmüştür. Bu çalışma, eksenel gerilmelerin yanı sıra, blok hareketlerinin engellenmesi nedeni ile yeraltında maruz kalınan makaslama gerilmelerine karşı olan sünme dirençleri ve tahkimat performanslarının sünme nedeni ile zamana bağlı olarak değişimlerinin incelenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Makaslama testleri uygulanan polimer tüplerin, maksimum yük seviyelerine ulaştıktan sonra kısa süre içerisinde kırılmak veya kopmak yerine yüksek deformasyon limitlerine izin verdikleri ve bu esnada yüksek çatlak ilerleme direnci nedeni ile önemli ölçüde yük taşıma kapasitelerine sahip oldukları görülmüştür. Polimer tüplerin göstermiş oldukları bu sünek malzeme özelliğinin kaya patlaması problemi olan alanlarda enerji absorpsiyonu kapasitesini artıracığı ve olumlu etkilere sahip olacağı öngörülmektedir (Yi ve Kaiser, 1994; Li, 2010; Li ve Doucet, 2012; Li vd., 2014). Kaya patlaması problemlerine karşı gövde dayanımı açısından görülen avantajın yanısıra delik ve saplama sürtünme yüzeylerine uygulanan ani yük testleri sonuçları sürtünme yüzeyine uygulanan normal gerilme ile birlikte değerlendirildiğinde polimer tüplerin çelik numunelere nazaran daha avantajlı olduğu yönündedir. Ancak, bu çalışma kapsamında elde edilen test sonuçları

ışığında polimer ve çelik numunelerin sürtünme yüzeylerinin benzer seviyede ani yük taşıma kapasitelerine sahip olduğu görülmüştür.

Çapsal daralma testleri ile elde edilen bulgular polimer tüplerin mekanik özelliklerinde su ile temas nedeni ile bir değişim olmadığını doğrulamıştır. Çelik tüplerin paslanma problemine karşılık polimer tüplerin yüksek kimyasal dirençleri nedeni ile avantajlı olduklarını söylemek mümkündür. Ancak, polimer malzeme ve tüp kalınlığının tahkimat reaksiyonları açısından değerlendirilmesi sürecinde polimer gövdelerin gerilme rahatlaması problemlerinin dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Sürtünmeli kaya saplamalarının genellikle madencilikte bir yılı bulmayan kısa hizmet süreleri için kullanıldıkları düşünüldüğünde çalışmanın 6 aylık inceleme sürecinin önemli ölçüde fikir verdiği kabul edilebilir. Ancak, birkaç yılı bulan hizmet süreleri için daha uzun süreli incelemeler gereklidir (Hoek, 2006; Hassell ve Villaescusa, 2005).

Paslanma problemi nedeni ile çelik tüplerin taşıma kapasitelerini ve tahkimat katılımları (rijitliklerini) uzun dönemde önemli ölçüde kayıp ettiği ve uzun süreli korozyon sonucu polimer tüplerin avantajlı olduğuna yönelik bulgular elde edilmiştir. Tüplerin duvar (et) kalınlığı artışı ile çapsal daralma neticesinde yüzeye etkiyen gerilme ve taşıma kapasitesi artışı beklenmektedir (Bawden, 2011; Davis, 1979). Polimer tüplerin kısa dönem taşıma kapasitelerinin çelik tüplere nazaran daha düşük olması, 6 mm olarak tercih edilen polimer tüp kalınlığının artırılması gerektiğini göstermiştir. Kalınlık artışı ile beklenen montaj yükündeki artış açısından 6 mm tüp duvar (et) kalınlığındaki polimer saplamalardan ölçülen montaj testi esnasındaki maksimum yük değerleri göz önüne alındığında et kalınlığı artışının müsaade edilebileceği sonucuna varılmaktadır. Ancak, polimer tüplerin gerilme rahatlaması problemi nedeni ile kısa dönem taşıma kapasitelerinin aynı montaj yüküne sahip çelik tüplerinkine nazaran daha düşük olması beklenmektedir.

Polimer tüplerin itme (eksenel yükleme) ve makaslama testlerinden elde edilen katılık değerleri çelik tüplerden elde edilen değerlere nazaran kısa dönem için düşük ancak yakın değerler vermiştir. Çelik tüplerin korozyon problemi sonucu polimer saplamaların uzun dönem testlerinde çelik tüplere nazaran daha yüksek katılık değerleri sağladığı görülmüştür. Tüp kalınlığı artışı, yüzeye etkiyen normal gerilme değerlerindeki artış neticesinde polimer tüplerin tahkimat katılı-

ğı değerlerindeki artış için de gereklidir (Dupont ve Bapna, 1994; Zhai vd., 2014; Johnson vd., 2003). Eksenel yükleme testlerinde kullanılan polimer tüp yüzeylerinde çiziklerin görülmesi kaymaya başlanması ile delik pürüz ve mineral tanelerine takılma olması nedeni ile yük değerlerinde artış yaşanmış olduğunu doğrulamaktadır. Polimer tüplerin kaymaya devam etmesi için yük artışına gerek olması duraysızlıkların önlenmesi ve ideal tahkimat reaksiyonlarına sahip olunması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu çalışma ile elde edilen, paslanma problemi olmayan plastik tüplerin kullanımına yönelik deneysel veriler ışığında cam lif katkılı PP-R kompozit tüplerin çelik split setlerin yerine kullanımı için yeni ürünlerin geliştirilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

- Akkris, D., 2014. Advantages of the frictional rock bolt swellex, Proceedings of 11th Regional Rock Mechanics Symposium of Turkey, Afyonkarahisar, Turkey, pp. 247-252
- Akono, A.T., Randall, N.X., Ulma, F.J., 2012. Experimental determination of the fracture toughness via microscratch tests: Application to polymers, ceramics, and metals. J Mater Res, 27, 485-493
- Archibald, J.F., Dirige, P.A., 2006. Thin Spray-On Lining Applications for Rockburst, Blast and Fire Damage Mitigation, Proceedings of the 41st U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), Golden, Colorado, Proc. number: 06-1005
- Ariyama, T., Mori, Y., Kaneko, K., 1997. Tensile properties and stress relaxation of polypropylene at elevated temperatures, Polymer Engineering & Science, 37(1), 81-90
- Aziz, N., Pratt, D., Williams, R., 2003. Double Shear Testing of Bolts, Proceedings of Coal 2003: Coal Operators' Conference, Australia, pp. 154-161.
- Bawden, W.F., 2011. Ground control using Cable and Rock Bolting, SME Mining Engineering Handbook, SME, USA, pp. 611-625
- Bengisu, M.T., Akay, A., 1999. Stick-slip oscillations: Dynamics of friction and surface roughness, J Acoust Soc Am, 105, 194-205
- Brady, B.H.G., Brown, E.T., 2005. Rock Mechanics for Underground Mining, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Basavaraju, M., Ranganatha, S., 2013. Effect of Soft Material Hardness and Hard Material Surface Morphology on Friction and Transfer Layer Formation; Dry Condition, International Journal of Recent Technology and Engineering, 2(4), 40-46
- Czichos, H., 1986. Introduction to friction and wear,

- Friction and Wear of Polymer composites (ed. By Friedrich K), Elsevier, Amsterdam, pp.1-23
- Davis, W.L., 1979. Split-set Rock Bolt Analysis, *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 16, 1-10
- Deb, D., Das, K.C., 2014. A new doubly enriched finite element for modelling grouted bolt crossed by rock joint, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 70, 47–58
- Deng, M., Zhou, J., 2006. Effects of temperature and strain level on stress relaxation behaviors of polypropylene sutures, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 17(4), 365-369
- Dupont, P.E., Bapna, D. 1994. Stability of sliding frictional surface with varying normal force, *Journal of Vibration and Acoustic*, 116, 237-242
- Hassell, R., Villaescusa, E., 2005. In-situ corrosion assessment of galvanised friction bolts using overcoring techniques, 24th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV, pp. 349-356
- Heerden, V.D., 2007. Rock Support in Southern African Hard Rock Mines, *Proceedings of The Fourth Southern African Conference on Base Metals*, Swakopmund, Namibia, pp. 77-91
- Hoek, E., 2006. *Practical Rock Engineering* (Turkish translation by Karakus&Basarir), Publication of Chambers of Mining Engineers of Turkey, Ankara.
- Johnson, J., Williams, T., Sunderman, C., Signer, S., Bayer, D., 2003. [Field Test With Strain-Gauged Friction Bolts At The Gold Hunter Mine, Mullan, Idaho, USA](#), 22nd International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia
- Komurlu, E., 2012. Effects of rock and granular material horizontal stresses on support design, MSc Thesis, Karadeniz Technical University Mining Engineering Department, Trabzon, Turkey
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2012a. New Engineering Materials for Underground Constructions, 16th International Metallurgy and Materials Congress, pp. 307-319, İstanbul, Turkey.
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2012b. Using sprayed polymer as tunnel support, *Proceedings of 7th Asian Rock Mechanics Symposium*, Seoul, South Korea, pp. 1486-1499
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2013. Tunnelling and support materials from past to present, *The Journal of the Chamber of Mining Engineers of Turkey*, 52, 33-47
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2014. Improved Performance of Rock Bolts using Sprayed Polyurea Coating, *Rock Mechanics and Rock Engineering* (Published online: 21 December 2014), DOI: 10.1007/s00603-014-0696-4
- Komurlu, E., Kesimal, A., Colak, U., 2014. Polyurea type Thin Spray-on Liner Coating to Prevent Rock Bolt Corrosion, *Proceedings of the 8th Asian Rock Mechanics Symposium*, Saporro, Japan, October 2014, pp. 1389-1397
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2015. Reinforcing Rock Columns using Heated Polymeric Ties: An Experimental Study, *Rock Mechanics and Rock Engineering* (Under Review)
- Komurlu, E., Kesimal, A., Colak, U., 2015. Effect of polyurea type thin spray-on liner on support performance of rock bolts, *The Journal of the Chamber of Mining Engineers of Turkey* (Accepted: January 2015)
- Li, B., Qi, T., Zhengzheng, W., Yang, L., 2012. Back analysis of grouted rock bolt pullout strength parameters from field tests, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 28, 345–349
- Li, C.C., 2010. Field Observations of Rock Bolts in High Stress Rock Masses, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43, 491-496
- Li, C.C., Doucet, C., 2012. Performance of D-Bolts Under Dynamic Loading, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45, 193-204
- Li, C.C., Stjern, G., Myrvang, A., 2014. A review on the performance of conventional and energy-absorbing rockbolts, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6, 315-327
- Lyons, A., 2013. *Construction materials reference book* (ed. by Doran&Cather), Routledge, USA
- Meredith, R., Hsu, B.S., 1962. Stress Relaxation in Nylon and Terylene: Influence of Strain, Temperature, and Humidity, *Journal of Polymer Science*, 61, 253-270
- Mikhin, N.M., Lyapin, K.S., 1970. Hardness dependence of the coefficient of friction, *Soviet Physics Journal*, 13(3), 317-321
- Molique, R.S., 1994. *Frictional Behaviour of Polymers: the transition from static to kinetic conditions*, MSc. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University Mechanical Engineering, USA
- Oreste, P.P., Cravero, M., 2008. An analysis of the action of dowels on the stabilization of rock blocks on underground excavation walls, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 41, 835–868
- Pellet, F., Egger, P., 1996. Analytical Model for the Mechanical Behaviour of Bolted Rock Joints Subjected to Shearing, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 29 (2), 73-97
- Phillips, W.L., Statton, W.O., 1970. Stress-relaxation hardening of Nylon 66 filaments, *Journal of Material Science*, 5, 1021-1026
- Qingliang, C., Huaqiang, Z., Zhihong, X., Shiping, S., 2013. Anchoring mechanism and application of

hydraulic expansion bolts used in soft rock roadway floor heave control, *International Journal of Mining Science and Technology*, 23, 323–328

Piringer, O.G., Baner, A.L., 2008. [Plastic packaging: interactions with food and pharmaceuticals](#), Wiley-VCH, Germany

Razavi-Nouri, M., 2012. Creep and stress relaxation behavior of polypropylene, metallocene-prepared polyethylene and their blends, *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 9, 60-69

Soni, A., 2000. Analysis of swellex bolt performance and a standardized rockbolt pull test datasheet and database, Msc. thesis, University of Toronto Graduate Department of Civil Engineering, Canada

Srivastava, L.P., Singh, M., 2014. Effect of Fully Grouted Passive Bolts on Joint Shear Strength

Parameters in a Blocky Mass, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, DOI 10.1007/s00603-014-0615-8

Strygin, B.I., 1965. Stresses in metal rock bolts and the choice of their diameter, *Journal of Mining Science*, 1, 326-331

Vasarhelyi, B., Van, P., 2006. Influence of water content on the strength of rock, *Engineering Geology*, 84, 70–74

Wu, Y.K., Oldsen, J., 2010. Development of a New Yielding Rock Bolt – Yield-Lok Bolt, *Proceedings of 44th US Rock Mechanics Symposium*, Salt Lake City, UT

Yamaguchi, K., Thomas, A.G., Busfield, J.J.C., 2015. Stress relaxation, creep and set recovery of elastomers, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 68, 66–70

Yi, X., Kaiser, P.K., 1994. Impact testing for rockbolt design in rockburst conditions, [International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts](#), 31, 671-685

Zhai, C., Bevand, S., Gan, Y., Hanaor, D., Proust, G., Guelorget, B., Retraint, D., 2014. Measurement of normal contact stiffness on fractal rough surfaces, *Proceedings of 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*, NSW, Australia, pp 1-6